PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-055034
(43)Date of publication of application : 20.02.2002

---

(51)Int.CI. G01N 3/30

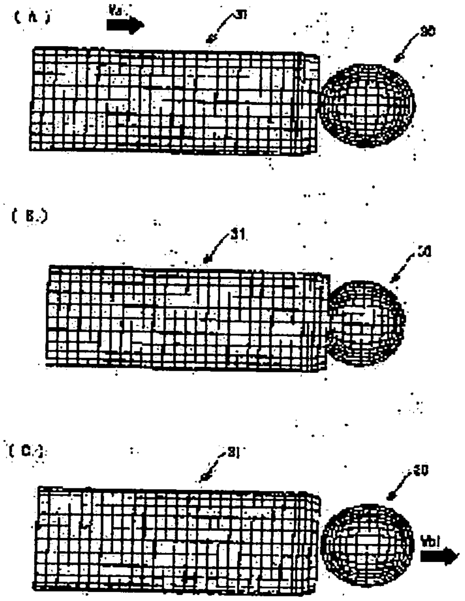
---

(21)Application number : 2000-242730
(22)Date of filing : 10.08.2000
(71)Applicant : SUMITOMO RUBBER IND LTD
(72)Inventor : MIYAMOTO KAZUYOSHI
MARUOKA KIYOTO

---

(54) METHOD FOR PREDICTING BOUNCING CHARACTERISTICS OF BALL

(57)Abstract:
PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately simulate the bouncing performance of a golf ball under actually impacted state, using finite element method in the design of a golf ball.
SOLUTION: In the simulation of the bouncing performance of a golf ball, actual impact test is simulated by finite element method using the physical properties of a material under the conditions of maximum compression strain and maximum strain rate equivalent to those obtained by means of a split Hoplinson rod test machine actual impact with a golf club head.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against

examiner's decision of rejection]
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

[JP,2002-055034,A]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer.So the translation may not reflect the original precisely.

2. **** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The rebounding property prediction method of the ball which measures the physical properties of the material which constitutes a ball, simulates the impact test of the actual ball for measuring a rebounding property by the finite element method using the above-mentioned measured value, and predicts the rebounding property of a ball from this simulation with the split HOPUKINSON rod testing machine under a strain equivalent to the time of the blow by the actual ball blow implement, and the conditions of a rate of strain.

[Claim 2] The rebounding property prediction method of the ball which measures the physical properties of the material which constitutes a golf ball, simulates the impact test of the actual golf ball for measuring a rebounding property by the finite element method using the above-mentioned measured value, and predicts the rebounding property of a golf ball from this simulation with the split HOPUKINSON rod testing machine under a strain equivalent to the time of the golf ball blow by the actual golf club head, and the conditions of a rate of strain.

[Claim 3] The rebounding property prediction method of the ball which measures the physical properties of the material which constitutes a golf ball, simulates the impact test of the actual golf ball for measuring a rebounding property by the finite element method using the above-mentioned measured value, and predicts the rebounding property of a golf ball from this simulation with the split HOPUKINSON rod testing machine under the conditions of the maximum compressive strains 0.05-0.50 equivalent to the time of the golf ball blow by the actual golf club head.

[Claim 4] The rebounding property prediction method of the ball which measures the physical properties of the material which constitutes a golf ball, simulates the impact test of the actual golf ball for measuring a rebounding property by the finite element method using the above-mentioned measured value, and predicts the rebounding property of a golf ball from this simulation with the split HOPUKINSON rod testing machine under maximum rate-of-strain 500-/s equivalent to the time of the golf ball blow by the actual golf club head - 5000-/s of conditions.

[Claim 5] The physical properties of the material measured with the above-mentioned split HOPUKINSON rod testing machine are the rebounding property prediction methods of a ball given in any 1 term of the claim 1 which are Young's modulus and a loss factor, or a claim 4.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention enables it to predict this rebounding property by simulation especially about the rebounding property prediction method when hitting balls, such as a golf ball, without actually hitting a ball.

[0002]

[Description of the Prior Art] Flight distance is mentioned to one of the important performances for which a golfer asks a golf ball. The big golf ball of flight distance gives a golfer invigoration, and contributes it also to a score makeup. For this improvement in flight distance, improvement in the resilience ability of a golf ball is required.

[0003] Therefore, in the design of a golf ball, the resilience ability when being hit is one of the big evaluation criteria. By the design of the conventional golf ball, the material which constitutes a ball was determined, after that, the ball was actually made as an experiment and evaluation about the rebounding property of the designed ball was performed to actually hitting the ball made as an experiment. This design method had taken costs and time very much in the trial production of a ball.

[0004] then, in the design of the various products of many industrial fields, in order to measure the resilience ability of a golf ball using the finite element method used for the costs of a trial production, saving of time, etc., what simulated the impact test which is practice is proposed Thus, when simulating with a finite element method, the physical properties (Young's modulus and loss factor) of the component of the ball measured with the viscoelasticity spectrum meter which generally measures the rigidity of material, viscosity, etc., the tension tester which measures Young's modulus are used as an input value to a simulation. Especially, since the physical properties of the test piece with which the dynamic strain was given in viscoelasticity spectrum meter are measured, it is useful to the analysis technique by the finite element method which simulated the blow of a golf ball.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, the maximum rate of strain applied to the material of a golf ball at the time of measurement by the above-mentioned viscoelasticity spectrum meter, the tension tester which measures Young's modulus serves as about 1.0/s, and small about [the maximum compressive strain 0.0001 to] 0.02 and small value from 0.001-/s. The material of a golf ball is a high degree of hardness, and this is very much for being hard to cause a form in viscoelasticity spectrum meter and the tension tester which measures Young's modulus.

[0006] With the material which constitutes a golf ball on the other hand at the time of an actual blow, the maximum rate of strain is about 500/s-5000/s, the maximum compressive strain is 0.05 to about 0.50, and a serious strain [high-speed type] produces it.

[0007] Thus, in measurement by viscoelasticity spectrum meter, the tension tester which measures Young's modulus, the maximum rate of strain and the maximum compressive strain differ from the time of an actual blow greatly, and the measured value of material physical properties is not in a near state, when actually hit. The material physical properties which use it for a simulation since a rebounding performance is a performance by which a golf ball is discovered in the state where it was actually hit with the head of a golf club need to be measured in the near state, when actually hit. Therefore, the Young's modulus obtained by measurement by viscoelasticity spectrum meter, the tension tester which measures Young's modulus, and a loss factor have the problem suitable for the simulation of a blow that they are not material physical properties.

[0008] For this reason, even if it simulates the rebounding property of a golf ball by the finite element method using the Young's modulus obtained with viscoelasticity spectrum meter, the tension tester which measures Young's modulus, and the value of a loss factor, the golf ball in the state where it was actually hit will be simulated correctly. Therefore, since the design of the golf ball using the simulation by the present finite element method has inadequate evaluation of a rebounding property, as a matter of fact, it makes a golf ball as an experiment, and has the problem that it cannot but depend on the test by blow of thing.

[0009] It is making into the technical problem that this invention is made in view of the above-mentioned problem, enables it to simulate correctly the golf ball in the state where it was actually hit, and enables it to predict the rebounding property of a golf ball correctly from this simulation.

[0010]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the above-mentioned technical problem, this invention measures the physical properties of the material which constitutes a ball from under a strain equivalent to the time of the blow by the actual ball blow implement, and the conditions of a rate of strain with a split HOPUKINSON rod testing machine, using the above-mentioned measured value, by the finite element method, simulates the impact test of the actual ball for measuring a rebounding property, and offers the rebounding property prediction method of the ball which predicts the rebounding property of a ball from this simulation.

[0011] As a ball made into the above-mentioned object, a golf ball is used especially suitably. However, it can be used not only for a golf ball but for prediction of the rebounding property of the ball when hitting a hard tennis ball, the ball of baseball, etc.

[0012] When aimed at a golf ball, with the split HOPUKINSON rod testing machine, under a strain equivalent to the time of the golf ball blow by the actual golf club head, and the conditions of a rate of strain, the physical properties of the material which constitutes a golf ball are measured, using the above-mentioned measured value, the impact test of the actual golf ball for measuring a rebounding property is simulated by the finite element method, and the rebounding property of a golf ball is predicted from this simulation.

[0013] In measurement by the above-mentioned split HOPUKINSON rod testing machine, it is high speed and the strain of a form can be given to a test piece very much. Therefore, material physical properties (Young's modulus and loss factor) can actually be measured by the golf club head under a strain equivalent to the time of a golf ball being hit, and the conditions of a rate of strain. By using the material physical properties (Young's modulus and loss factor) measured with this split HOPUKINSON rod testing machine, by the finite element method, the actual impact test for measuring a rebounding property can be simulated correctly, and the rebounding property of the golf ball in the state near an actual blow can be predicted. Thereby, in the design stage of a golf ball, the actual number of times of a ball trial production can be reduced, and the costs and time which a trial production takes can be cut down. Therefore, the optimal golf ball can be designed about a rebounding property for a short period of time.

[0014] Moreover, if even the Young's modulus of material and the value of a loss factor which constitute the golf ball under conditions equivalent to the time of the blow by the actual golf club head, the structure of a golf ball, and the arrangement position of each material are known, a simulation can be performed about the resilience ability of the golf ball of various kinds. Therefore, a trial production can evaluate easily the difference between a difficult thing or the rebounding property of the golf ball accompanying change of material or its arrangement position.

[0015] Furthermore, in addition to the state of strain generated inside a golf ball by the finite element method since the state of the ball at the time of the blow of an actual golf ball can be simulated, the state of stress inside a ball when the blow is added to the ball is also view-guessed correctly, and the thing of it can be carried out. This result can design the golf ball which is excellent in a rebounding performance.

[0016] Since the maximum compressive strains generated in a golf ball at the time of the blow by the actual golf club head are 0.05-0.50, it is desirable to simulate by the finite element method using the material physical properties (Young's modulus and loss factor) under these conditions. Thus, the rebounding property of the golf ball at the time of an actual blow can be correctly simulated by doubling with the service condition of a ball.

[0017] Or since the maximum rate of strain generated in a golf ball at the time of the blow by the actual golf club head is 500-/s - 5000-/s, it is desirable to simulate by the finite element method using the material physical properties (Young's modulus and loss factor) under these conditions. Thus, the rebounding performance of the golf ball at the time of an actual blow can be correctly simulated by doubling with the service condition of a ball.

[0018] In addition, it is high speed and the strain of a form is given to a test piece very much, and actually, if material physical properties (Young's modulus and loss factor) can be measured under the conditions of the maximum compressive strain equivalent to the time of a golf ball being hit by the golf club head, and the maximum rate of strain, it cannot be overemphasized that material physical properties (Young's modulus, loss factor) may be searched for with measuring methods other than a split HOPUKINSON rod.

[0019] 1000-100000 are desirable still more desirable, and, as for the number of the elements of all the ranges of a golf ball, 2500-20000 are good at a whole model. In addition, since the time of analysis is shortened as the capacity of a maximum value of a computer will improve in view of the capacity of the computer in a present stage from now on, changing can imagine the range of maximum easily.

[0020] Moreover, in the analysis of a rebounding property, in the case of the analysis of a bilateral-symmetry model, a ball can be used as the half model (model cut by the neutral plane which carries out the division-into-equal-parts rate of the right and left including the center of a ball) instead of a whole model, and the rebounding prediction analysis in the model which carries out a longitudinal-direction restraint can also perform the same analysis as a whole model to a neutral plane. Furthermore, in the case of the analysis of a right-and-left and vertical symmetrical model, a ball is analyzable similarly by considering as 1/4 model instead of a whole model. Thus, without reducing analysis precision by taking the symmetric property of an analytic model into consideration, an analysis field can be lessened and a finite element method can be performed efficiently.

[0021] The golf ball which simulates by this invention may be the so-called dress golf ball which consists of simple substances, such as a bridge formation rubber layer, and the so-called two-piece golf ball with which covering was covered by cores, such as a bridge formation rubber layer, is sufficient as it, and it may be the so-called multi-piece golf ball which consists of three or more layers, and can be adapted for the golf ball of all structures.

[0022] Moreover, as for the material of the golf ball which simulates by this invention, all measurable material is contained with a split HOPUKINSON rod. For example, synthetic resin, such as an ionomer resin, a polybutadiene, natural rubber, a polyisoprene, a styrene-butadiene copolymer, an ethylene-propylene-diene copolymer (EPDM), etc. are mentioned. Optimum dose combination of the various additives, such as a coloring agent, a degradation inhibitor, and a cross linking agent, may be carried out at these simple substances or the constituent which consists of mixture if needed.

[0023]

[Embodiments of the Invention] Hereafter, the operation gestalt of this invention is explained with reference to a drawing. Drawing 1 is the typical front view in which the split HOPUKINSON rod testing machine which measures material physical properties (Young's modulus and loss factor) required for a finite element method was shown in the rebounding property prediction method of the ball of this invention.

[0024] The split HOPUKINSON rod testing machine shown in drawing 1 is equipped with the blow rod 1, the input rod 3, and the output rod 5, and these are arranged on the straight line. The input rod 3 is attained to first strain-gage 7, and the second strain gage 9 is attached in it. The output rod 5 is attained to third strain-gage 11, and the fourth strain gage 13 is attached in it. The pillar-like test piece 20 is pinched between back end 3a of the input rod 3, and front end 5a of the output rod 5.

[0025] A test piece 20 may be cut down from the golf ball which what fabricated material, such as a rubber constituent used for a golf ball, in the configuration of a test piece is sufficient as, and was fabricated spherically. With this operation gestalt, the length (namely, distance of back end 3a of the input rod 3 and front end 5a of the output rod 5) of a test piece 20 is setting 4mm and the cross-section diameter of a test piece 20 to 18mm.

[0026] The blow rod 1, the input rod 3, and the output rod 5 are the pillars made from polymethylmethacrylate, and a cross-section diameter is [5300MPa(s) and the specific gravity of 20mm and Young's modulus] 1.19. The length of the blow rod 1 is 100mm. The length of the input rod 3 and the output rod 5 (hereafter called this input rod 3 and the output rod 5 with a "stress rod") is 2000mm. The first strain gage 7 is attached in the position of 900mm from back end 3a of the input rod 3, and the second strain gage 9 is attached in the position of 600mm from back end 3a of the input rod 3. Moreover, the third strain gage 11 is attached in the position of 300mm from front end 5a of the output rod 5, and the fourth strain gage 13 is attached in the position of 600mm from front end 5a of the output rod 5.

[0027] Thus, the split HOPUKINSON rod testing machine of drawing 1 It is the product made of synthetic resin which the blow rod 1, the input rod 3, and the output rod 5 become from polymethylmethacrylate. the blow rod 1 and the input rod 3 -- 2000mm -- large -- moreover -- the [the distance of the first strain gage 7 and back end 3a of the input rod 3, and], since the distance of the 2 strain gage 9 and back end 3a of the input rod 3 is large It is suitable for measurement of the material physical properties (Young's modulus, loss factor, etc.) of the material which has the viscoelasticity of bridge formation rubber which is used for a golf ball.

[0028] With this operation gestalt, it is sticking on the position which the input rod 3 and the output rod 5 described above using KFP-5-350-C1-65 by Kyowa Electronic Instruments Co., Ltd., using the strain gage for monopodium plastics as the first strain gage 7 of the above, the second strain gage 9, the third strain gage 11, and the fourth strain gage 13. the [these first strain gages 7 or] -- the attaching position to the input rod 3 and the output rod 7 of the 4 strain gage 13 is made into the same line top in the length direction

[0029] In measurement of the Young's modulus by this split HOPUKINSON rod testing machine, and a loss factor, the blow rod 1 collides with front end 3a of the input rod 3 at the rate of 25 m/s first. By this, an incidence distorted wave arises and this incidence distorted wave progresses toward back end 3a of the input rod 3. It reflects in back end 3a of the input rod 3, and a part of this incidence distorted wave turns into a reflective distorted wave, and it progresses toward front end 3b of the input rod 3. A part of incidence distorted wave penetrates the piece 20 of a back end 3a blank test of the input rod 3, and it is further spread on the output rod 5, serves as a transparency distorted wave, and progresses toward back end 5b of the output rod 5.

[0030] An incidence distorted wave reaches first strain-gage 7, and is surveyed by the second strain gage 9. A low pass filter lets the surveyed incidence distorted wave pass, and a RF 10kHz or more is removed. Furthermore, zero amendment to which the time history of an incidence distorted wave considers the base-line value as zero is given. In this way, the Fourier transform of each of the obtained time-axis [in / the second strain gage 9 / it reaches first strain-gage 7 and] strain is carried out, and a frequency axial strain is called for. A transfer function is drawn from this frequency [in / the second strain gage 9 / it reaches first strain-gage 7 and] axial strain. Based on the above-mentioned transfer function, the frequency axial strain in back end 3a of the input rod 3 is presumed, the ratio (X1:X2) of the distance X1 of the first strain gage 7 and back end 3a of the input rod 3 and the distance X2 of the second strain gage 9 and back end 3a of the input rod 3 being taken into consideration. By carrying out the inverse Fourier transform of this frequency axial strain, time-axis strain (time history of strain) epsiloni of the incidence distorted wave in back end 3a of the input rod 3 is obtained.

[0031] The reflective distorted wave which similarly reflects by back end 3a of the input rod 3, and goes to front end 3b is surveyed by the strain gage 7 the second strain gage 9 and for a start. Time-axis strain (time history of strain) epsilonr of the reflective distorted wave in back end 3a of the input rod 3 is obtained from this surveyed reflective distorted wave.

[0032] Moreover, the transparency distorted wave of the output rod 5 which reaches third strain-gage 11 and is spread on the output rod 5 through a test piece 20 by the fourth strain gage 13 is surveyed, and time-axis strain (time history of strain) epsilont of the transparency distorted wave in front end 5a of the output rod 5 is obtained from this surveyed transparency distorted wave.

[0033] In this way, rate-of-strain epsilon' of a test piece 20 is computed by the following formula (1) from epsiloni and epsilonr which were obtained, and epsilont.

epsilon'=(C0/L) - (epsiloni-epsilonr-epsilont)
= (E/rho) (1/2/L) - (epsiloni-epsilonr-epsilont) --- (1)

(In a formula (1), C0 expresses the propagation velocity (m/s) of the distorted wave in an input rod and an output rod (stress rod), L expresses the length (m) of a test piece, E expresses the Young's modulus (N/m2) of a stress rod, and rho expresses the density (kg/m3) of a stress rod)

[0034] Moreover, the strain epsilon of a test piece 20 is computed by the following formula (2) from epsiloni, epsilonr, and epsilont.

[0035]

(In a formula (2), C0 expresses the propagation velocity (m/s) of the distorted wave in an input rod and an output rod (stress rod), L expresses the length (m) of a test piece, E expresses the Young's modulus (N/m2) of a stress rod, and rho expresses the density (kg/m3) of a stress rod)

[0036] Furthermore, the stress sigma of a test piece 20 is computed by the following formula (3) from epsiloni, epsilonr, and epsilont.

sigma=(E.A/(2As)) - (epsiloni+epsilonr+epsilont)

= (E-D2/(2 (Ds) 2)) - (epsiloni+epsilonr+epsilont)

---(3)

(In a formula (3), E expresses the Young's modulus (N/m2) of the stress rod which consists of an input rod and an output rod, A expresses the cross section (m2) of the above-mentioned stress rod, As expresses the cross section (m2) of a test piece, D expresses the diameter (m) of a stress rod, and Ds expresses the diameter (m) of a test piece)

[0037] In this way, the strain time history of the obtained test piece 20 is shown in the graph of drawing 2 . As shown in drawing 2 , although the curve is gently-sloping for the time being after Peak P, it becomes irregularity-like after that. Let the whole strain time history be a gently-sloping curve (for a dotted line to show in drawing 2) by choosing the point S in the gently-sloping stage after Peak P, drawing the tangent to the curve in this point S, drawing the relaxation time lambda from the intersection of this tangent and time-axis, and making into the curve after Point S the curve called for with the following formula (4). The influence of the noise to the material physical properties (Young's modulus and loss factor) finally acquired by this is removable.

epsilon(t) =epsilon0 and e-t/lambda --- (4)

(In a formula (4), epsilon 0 expresses the strain in a contact)

[0038] Similarly, the whole stress time history can be made into a gently-sloping curve with the following formula (5), and the influence of the noise to the material physical properties (Young's modulus and loss factor) finally acquired by this can be removed.

sigma(t) =sigma0 and e-t/lambda --- (5)

(In a formula (5), sigma0 expresses the stress in a contact)

[0039] A stress-strain curve is determined from the strain time history and stress time history of the test piece 20 with which such amendment was performed. Drawing 3 is the graph with which the typical stress-strain curve was shown. From this stress-strain curve, Young's modulus Es of a test piece 20 is computed using the following formula (6).

Es=sigma max/epsilon max --- (6)

[0040] Moreover, a phase angle delta is computed from the stress-strain curve of drawing 3 using the following formula (7).

Delta=sin -1 (sigmaa-sigmab) (/sigmamax) --- (7)

And a loss factor (tandelta) is computed from this phase angle delta.

[0041] The maximum rate of strain of a test piece when the above-mentioned blow rod collides with the front end of an input rod by 25m/s in speed is about 2500/s from 2000-/s, and the maximum compressive strain is 0.15 to about 0.25. The deformation behavior of this strain is close to deformation behavior when a golf ball is hit. That is, the Young's modulus and the loss factor which are measured by this split HOPUKINSON rod testing machine are the material physical properties in a near state, when a golf ball is actually hit. In addition, the collision speed of a blow rod should just be the speed which becomes closely at deformation behavior when a golf ball is hit for the deformation behavior [test piece / when not only 25 m/s but a blow rod collides] of a strain.

[0042] The Young's modulus and the loss factor which are measured by the split HOPUKINSON rod testing machine as mentioned above can be substituted, and the restitution coefficient of the golf ball under conditions equivalent to the time of the blow by the actual golf club head can be predicted by simulating by the finite element method.

[0043] In the golf ball 30 which consists of three layers, a inner layer, an interlayer, and an outer layer, as specifically shown in drawing 4 , Material A and the interlayer are consisted of from material B, and the outer layer consists of material C for the inner layer. The bottom of a condition equivalent to the time of the blow by the actual golf club head is beforehand asked for the Young's modulus and the loss factor of

Material A, Material B, and Material C of each class by the measuring method by the above-mentioned split HOPUKINSON rod testing machine. As the value is substituted and it is shown below, the restitution coefficient of a golf ball can be correctly predicted by simulating with a finite element method.

[0044] (Calculation of the restitution coefficient in analysis) Supposing the collision to the golf ball of a golf club head, as shown in drawing 5 (A), (B), and (C), the collision to the golf ball 30 in the initial velocity Va (m/s) of the hollow rod model 31 made from aluminum is simulated. The line of the shape of a grid in drawing is a line which shows the mesh used by the finite element method. Mass is distributed to each joint constituted about one element, each joint is replaced with the material point, the sum total is broken as a speed in which the material point has the speed of each joint, and it is considering as the whole speed. That is, the speed Vbi (i=x, y, z) of the ball after impact is computed as follows with a formula (8). A total momentum of a ball is considered to be the sum of the momentum of all the material points, and what broke a total momentum by AUW is defined as the elutriation speed Vbi of a ball.

[0045]

Here, the number of joints of a ball, gross mass, and the mass of the element with which N and M contain Vni and Mn contains the n-th advancing-side-by-side speed and a joint are divided by the number of the joints contained in the element.

[0046] By the above-mentioned method, the speed of the above-mentioned hollow rod model 31 made from aluminum before and behind a collision and a golf ball 30 is computed, and the restitution coefficient of a golf ball 30 is computed from each speed and the weight.

[0047] Moreover, even when Material C and an interlayer are made into Material B and an outer layer is made into Material A for a inner layer in golf ball 30' from which the arrangement position of material differs although the golf ball 30 and structure which were mentioned above are the same as shown in drawing 6 , the Young's modulus of each material A-C and the value of a loss factor can be substituted for the applicable portion of each material, and can only be simulated with a finite element method, and the restitution coefficient of golf ball 30' after arrangement repositioning of material can be Thus, resilience ability can be easily compared about the golf ball of various composition, without building a prototype.

[0048] Moreover, in the analysis of a rebounding property, in the case of the analysis of a bilateral-symmetry model, as shown in drawing 7 (A) and (B) A ball is used as the half model 40 (model cut by the neutral plane T which carries out the division-into-equal-parts rate of the right and left including the center of a ball) instead of a whole model. The rebounding prediction analysis (the rotation restraint of the circumference of the direction advancing-side-by-side restraint of y, x, and the z-axis is put into a neutral plane T) in the model which carries out the longitudinal-direction restraint of the collision with the hollow rod model 41 made from aluminum at a neutral plane T can also perform the same analysis as a whole model. Furthermore, in the case of the analysis of a right-and-left and vertical symmetrical model, as shown in drawing 8 , two neutral plane T[not a whole model but]', and by cutting by T″, a ball can be used as 1/4 model 50, and can analyze the collision with the hollow rod model 51 made from aluminum like a whole model. Thus, without reducing analysis precision by taking the symmetric property of an analytic model into consideration, an analysis field can be lessened and a finite element method can be performed efficiently.

[0049] In addition, although the golf ball which consists of three layers is simulated with this operation form, the golf ball which simulates by this invention can be adapted for golf balls of all structures, such as a dress golf ball, a two-piece golf ball, or a multi-piece golf ball that consists of three or more layers.

[0050] Thus, if even the Young's modulus under conditions equivalent to the time of the blow by the actual golf club head of each material, the value of a loss factor, the structure of a golf ball, and the arrangement position of each material are known, about the resilience ability of the golf ball of various kinds, a simulation can be performed and resilience ability evaluation can be performed, without building a prototype.

[0051] In addition, it is high speed and the strain of a form is given to a test piece very much, and actually, under the conditions of the maximum compressive strain equivalent to the time of a golf ball being hit by the golf club head, and the maximum rate of strain, as long as it can measure material physical properties (Young's modulus and loss factor), you may search for material physical properties (Young's modulus, loss factor) with measuring methods other than the above-mentioned split HOPUKINSON rod.

[0052] Hereafter, the example and the example of comparison of a rebounding simulation of this invention are explained in full detail. [of a golf ball] First, the golf ball using the following material 1-3 was produced.

[0053] (Material 1)

High cis polybutadiene rubber (product made from BR01 JSR) Compression molding of the mixture which consists of 100phr acrylic-acid zinc (ZDA) 31phr zinc-oxide (ZnO) 20phr dicumyl peroxide (DCP) 0.4phr was carried out with metal mold the diameter of 42.8mm at 160 degrees C for 30 minutes, and 1 piece ball was produced.

[0054] (Material 2) Injection molding of the thermoplastic elastomer polyester (Hytrel 4474 Toray Industries Du Pont make) was carried out with metal mold the diameter of 42.8mm, and 1 piece ball was produced.

[0055] (Material 3)

Injection molding of the ******** which consists of ionomer-resin (made in high MIRAN 1605 Mitsui E. I. du Pont de Nemours Chemical) 50phr ionomer-resin (made in high MIRAN 1706 Mitsui E. I. du Pont de Nemours Chemical) 50phr was carried out with metal mold the diameter of 42.8mm, and 1 piece ball was produced.

[0056] (Example) The material physical properties (Young's modulus and loss factor) of the above-mentioned material 1-3 were measured with the above-mentioned split HOPUKINSON rod testing machine (collision speed 25 m/s of the room temperature of 23 degrees C, 50% of relative humidity, and a blow rod). The Young's modulus obtained by measurement, a loss factor, and the maximum compressive strain and the maximum rate of strain at the time of measurement are shown in the following table 1.

[0057] The state of the golf ball at the time of making the 200g (the same as that of the weight of a head) hollow rod model made from aluminum collide with each golf ball which consists of material 1-3 by the finite element method using this value at initial velocity 35 and 40 and three kinds of speed of 45 m/s was simulated, and the restitution coefficient of a golf ball was computed by the above-mentioned method. The restitution coefficient in the analysis of the example of the golf ball of the material 1-3 obtained here is shown in the following table 3 (material 1), Table 4 (material 2), and Table 5 (material 3), respectively.

[0058]

[Table 1]

[0059] (Example of comparison) The material physical properties (Young's modulus and loss factor) of the above-mentioned material 1-3 are measured in viscoelasticity spectrum meter (frequency [of 10Hz], maximum compressive-strain 0.02, and maximum rate-of-strain 1.256-/s), and the Young's modulus and the loss factor which were obtained are shown in the following table 2. The state of the golf ball at the time of making the 200g (the same as that of the weight of a head) hollow rod model made from aluminum collide with each golf ball which consists of material 1-3 by the finite element method using this value at initial velocity 35 and 40 and three kinds of speed of 45 m/s was simulated, and the restitution coefficient of a golf ball was computed by the above-mentioned method. The restitution coefficient in the analysis of the example of comparison of the golf ball of the material 1-3 obtained here is shown in the following table 3 (material 1), Table 4 (material 2), and Table 5 (material 3), respectively.

[0060]

[Table 2]

[0061]

[Table 3] (Material 1)

[0062]

[Table 4] (Material 2)

[0063]

[Table 5] (Material 3)

[0064] Moreover, the value of a restitution coefficient was measured by the following method by the experiment which used thing of the golf ball cast by the above-mentioned material 1-3. It is shown in Table 3 (material 1) which described above the difference (%) of the restitution coefficient in the analysis of the above-mentioned example and the example of comparison, and the restitution coefficient in the experiment which used thing following, Table 4 (material 2), and Table 5 (material 3).

[0065] (Measurement of the restitution coefficient in an experiment) As a method of measuring the restitution coefficient of a golf ball To each golf ball which consists of material 1-3 under a condition with a room temperature of 23 degrees C, as substitution of the head of a golf club The 200g (the same as that of the weight of a head) hollow rod made from aluminum was made to collide at speed 35 and 40 and three kinds of speed of 45 m/s, the speed of the above-mentioned hollow rod before and behind a collision and a golf ball was measured, and the restitution coefficient of each golf ball (three kinds of material) was computed from each speed and the weight. Each golf ball was measured with 1 piece ball. In addition, the collision side of the hollow rod made from aluminum is a flat, and was considered as the flat head-on collision with the golf ball. Since there is no angle in a collision side like a golf club head and a golf ball does not rotate at the time of a collision, only the resilience ability of a golf ball can be evaluated.

[0066] As shown in Tables 3, 4, and 5 The value of the restitution coefficient in the analysis of the example computed from the result which substituted the Young's modulus (maximum compressive-strain 0.098 to 0.3153, and maximum rate-of-strain 1381.1-3927.6/s under a condition) and the loss factor which were obtained with the split HOPUKINSON rod testing machine, and was analyzed with the finite element method The golf ball was actually made as an experiment, and it was well in agreement also in the value of the restitution coefficient in the experiment for which it asked with thing, and which material. The difference with an experimental result is -1.21% - 5.77%, and it has checked simulating the experimental result correctly.

[0067] The value of the restitution coefficient in the analysis of the example of comparison computed from the result which, on the other hand, substituted the Young's modulus and the loss factor which were obtained in spectrum meter (frequency [of 10Hz], maximum compressive-strain 0.02, and maximum rate-of-strain 1.256-/s), and was analyzed with the finite element method actually made the golf ball as an experiment, and the error had produced the value of the restitution coefficient in the experiment for which it asked with thing. The difference with an experimental result is 19.42% – 41.47%, and experimental results differed greatly.

[0068] As mentioned above, it has checked that the restitution coefficient at the time of an actual golf ball blow could be correctly simulated in substituting the Young's modulus and the loss factor which were obtained with the split HOPUKINSON rod testing machine, and analyzing with a finite element method.

[0069]

[Effect of the Invention] By the finite element method, with a split HOPUKINSON rod testing machine, since this invention has measured material physical properties (Young's modulus and loss factor) under a strain equivalent to the time of being actually a golf club head and a golf ball being hit, and the conditions of a rate of strain, it can simulate an actual impact test correctly, and can predict the rebounding property of the golf ball in the state near an actual blow so that more clearly than the above explanation. Thereby, in the design stage of a golf ball, the actual number of times of a ball trial production can be reduced, and the costs and time which a trial production takes can be cut down. Therefore, the optimal golf ball can be designed about a rebounding performance for a short period of time.

[0070] If even the structure of a golf ball and the arrangement position of each material are known in order for what is necessary just to be to simulate the blow of a ball with a finite element method using the material physical properties (Young's modulus and loss factor) of the material which constitutes a golf ball, a simulation can be performed about the rebounding property of the golf ball of various kinds, and it can design easily, without building a prototype about the material of various kinds, and arrangement structure.

[0071] Furthermore, the golf ball which is excellent in a rebounding performance in the stress inside a ball when the blow is added to the ball, and a state of strain since [which is correctly observed by the finite element method] things can be carried out can be designed.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the typical front view in which the split HOPUKINSON rod testing machine with which Young's modulus and a loss factor are measured was shown.

[Drawing 2] It is the graph with which the state of the strain time history of a test piece was shown.

[Drawing 3] It is the graph with which the stress-strain curve was shown.

[Drawing 4] It is the cross section of the golf ball which performed the simulation of this invention.

[Drawing 5] The rebounding performance-evaluation simulation by the collision to the golf ball of the hollow rod model made from aluminum is shown, and (A) is [(C) of (B)] drawing after a collision during a collision before a collision.

[Drawing 6] It is the cross section of the golf ball of the modification which performed the simulation of this invention.

[Drawing 7] (A) and (B) are the schematic diagrams showing the half model of a golf ball.

[Drawing 8] It is the schematic diagram showing 1/4 model of a golf ball.

[Description of Notations]

30 Golf Ball

31 Hollow Rod Model made from Aluminum

(19)日本国特許庁（ＪＰ）　　(12) **公開特許公報**（Ａ）　　(11)特許出願公開番号

特開2002－55034

（P2002－55034A）

(43)公開日　平成14年２月20日(2002.2.20)

(51)Int.Cl.⁷　　識別記号　　ＦＩ　　テーマコード゛(参考)

Ｇ０１Ｎ　3/30　　　　Ｇ０１Ｎ　3/30　　Ｎ　２Ｇ０６１

審査請求　未請求　請求項の数５　ＯＬ　（全 10 頁）

(21)出願番号　特願2000－242730(P2000－242730)

(22)出願日　平成12年８月10日(2000.8.10)

(71)出願人　000183233
住友ゴム工業株式会社
兵庫県神戸市中央区脇浜町３丁目６番９号

(72)発明者　宮本　和佳
兵庫県神戸市中央区脇浜町３丁目６番９号
住友ゴム工業株式会社内

(72)発明者　丸岡　清人
兵庫県神戸市中央区脇浜町３丁目６番９号
住友ゴム工業株式会社内

(74)代理人　100072660
弁理士　大和田　和美

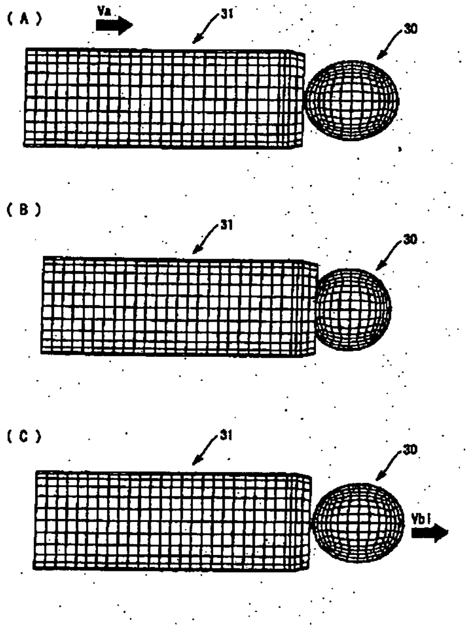
Ｆターム(参考)　2G061 AA13 AB04 BA06 BA20 CA10
CB00 CB20 DA11 EA04 EC02
EC06

(54)【発明の名称】　ボールの反発特性予測方法

(57)【要約】

【課題】　ゴルフボールの設計において、有限要素法によるシミュレーションを行い、実際に打撃された状態でのゴルフボールの反発性能を正確にシミュレートする。

【解決手段】　ゴルフボールの反発性能のシミュレーションにおいて、スプリットホプキンソン棒試験機により得られた実際のゴルフクラブヘッドによる打撃時と同等の最大圧縮ひずみ、最大ひずみ速度の条件下での材料物性を用いて、有限要素法解析により、実際の打撃試験をシミュレートする。



【特許請求の範囲】

【請求項１】　スプリットホプキンソン棒試験機により、実際のボール打撃具による打撃時と同等のひずみ及びひずみ速度の条件下で、ボールを構成する材料の物性を測定し、

上記測定値を用いて、有限要素法解析により、反発特性を測定するための実際のボールの打撃試験をシミュレートし、該シミュレートよりボールの反発特性を予測しているボールの反発特性予測方法。

【請求項２】　スプリットホプキンソン棒試験機により、実際のゴルフクラブヘッドによるゴルフボール打撃時と同等のひずみ及びひずみ速度の条件下で、ゴルフボールを構成する材料の物性を測定し、

上記測定値を用いて、有限要素法解析により、反発特性を測定するための実際のゴルフボールの打撃試験をシミュレートし、該シミュレートよりゴルフボールの反発特性を予測しているボールの反発特性予測方法。

【請求項３】　スプリットホプキンソン棒試験機により、実際のゴルフクラブヘッドによるゴルフボール打撃時と同等の最大圧縮ひずみ０．０５～０．５０の条件下で、ゴルフボールを構成する材料の物性を測定し、

上記測定値を用いて、有限要素法解析により、反発特性を測定するための実際のゴルフボールの打撃試験をシミュレートし、該シミュレートよりゴルフボールの反発特性を予測しているボールの反発特性予測方法。

【請求項４】　スプリットホプキンソン棒試験機により、実際のゴルフクラブヘッドによるゴルフボール打撃時と同等の最大ひずみ速度５００／ｓ～５０００／ｓの条件下で、ゴルフボールを構成する材料の物性を測定し、

上記測定値を用いて、有限要素法解析により、反発特性を測定するための実際のゴルフボールの打撃試験をシミュレートし、該シミュレートよりゴルフボールの反発特性を予測しているボールの反発特性予測方法。

【請求項５】　上記スプリットホプキンソン棒試験機により測定する材料の物性はヤング率、損失係数である請求項１乃至請求項４のいずれか１項に記載のボールの反発特性予測方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】本発明は、ゴルフボール等のボールを打撃した時の反発特性予測方法に関し、特に、該反発特性を実際にボールを打撃することなくシミュレートで予測できるようにするものである。

【０００２】

【従来の技術】ゴルファーがゴルフボールに求める重要な性能の１つに、飛距離が挙げられる。飛距離の大きなゴルフボールはゴルファーに爽快感を与え、また、スコアメイクにも寄与する。この飛距離向上のためには、ゴルフボールの反発性能の向上が必要である。

【０００３】従って、ゴルフボールの設計において、打撃されたときの反発性能は、大きな評価項目の一つである。従来のゴルフボールの設計では、ボールを構成する材料を決定し、その後、実際にボールの試作を行い、試作したボールを実際に打撃することで、設計したボールの反発特性に関しての評価を行っていた。この設計方法では、ボールの試作において非常に費用と時間を要していた。

【０００４】そこで、多くの工業分野の各種製品の設計において、試作の費用と時間の節約等のために利用されている有限要素法を用いて、ゴルフボールの反発性能を測定するために、実際の打撃試験をシミュレートしたものが提案されている。このように、有限要素法によりシミュレートする場合、一般に材料の剛性、粘性などを測定する粘弾性スペクトルメーター、ヤング率を測定する引張試験機などにより測定したボールの構成材料の物性（ヤング率と損失係数）をシミュレーションへの入力値として用いている。特に、粘弾性スペクトルメーターでは、動的ひずみが与えられた試験片の物性が測定されるため、ゴルフボールの打撃をシミュレートした有限要素法による解析手法に有用である。

【０００５】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記した粘弾性スペクトルメーター、ヤング率を測定する引張試験機などによる測定時に、ゴルフボールの材料にかかる最大ひずみ速度は、０．００１／ｓから１．０／ｓ程度と小さく、また、最大圧縮ひずみも０．０００１から０．０２程度と小さな値となる。これは、ゴルフボールの材料が高硬度であり、粘弾性スペクトルメーター、ヤング率を測定する引張試験機などでは大変形を起こしにくいためである。

【０００６】一方、実際の打撃時に、ゴルフボールを構成する材料では、最大ひずみ速度は５００／ｓ～５０００／ｓ程度であり、最大圧縮ひずみは０．０５～０．５０程度であり、高速大変形なひずみが生じる。

【０００７】このように、粘弾性スペクトルメーター、ヤング率を測定する引張試験機等による測定では、実際の打撃時と、最大ひずみ速度及び最大圧縮ひずみが大きく異なり、材料物性の測定値は、実際に打撃されたときに近い状態ではない。反発性能とは、ゴルフボールがゴルフクラブのヘッドで実際に打撃された状態で発現される性能であるため、シミュレーションに用いる材料物性は、実際に打撃されたときに近い状態で測定される必要がある。従って、粘弾性スペクトルメーター、ヤング率を測定する引張試験機等による測定で得られるヤング率、損失係数は、打撃のシミュレーションに適した材料物性ではないという問題がある。

【０００８】このため、粘弾性スペクトルメーター、ヤング率を測定する引張試験機等で得られたヤング率、損失係数の値を用いて、有限要素法解析によりゴルフボー

ルの反発特性をシミュレートしても、実際に打撃された状態でのゴルフボールを正確にシミュレートしていることにならない。従って、現状の有限要素法によるシミュレーションを用いたゴルフボールの設計は、反発特性の評価が不十分であるため、実際のところ、ゴルフボールの試作を行い、実物の打撃によるテストに頼らざるをえないという問題がある。

【０００９】本発明は上記した問題に鑑みてなされたものであり、実際に打撃された状態でのゴルフボールのシミュレートを正確に行えるようにし、このシミュレーションよりゴルフボールの反発特性を正確に予測できるようにすることを課題としている。

【００１０】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、スプリットホプキンソン棒試験機により、実際のボール打撃具による打撃時と同等のひずみ、ひずみ速度の条件下で、ボールを構成する材料の物性を測定し、上記測定値を用いて、有限要素法解析により、反発特性を測定するための実際のボールの打撃試験をシミュレートし、該シミュレートよりボールの反発特性を予測しているボールの反発特性予測方法を提供している。

【００１１】上記対象とするボールとしてはゴルフボールが特に好適に用いられる。しかしながら、ゴルフボールに限らず、硬式テニスボール、野球のボール等を打撃した時のボールの反発特性の予測にも使用できるものである。

【００１２】ゴルフボールを対象とする場合には、スプリットホプキンソン棒試験機により、実際のゴルフクラブヘッドによるゴルフボール打撃時と同等のひずみ及びひずみ速度の条件下で、ゴルフボールを構成する材料の物性を測定し、上記測定値を用いて、有限要素法解析により、反発特性を測定するための実際のゴルフボールの打撃試験をシミュレートし、該シミュレートよりゴルフボールの反発特性を予測している。

【００１３】上記したスプリットホプキンソン棒試験機による測定では、試験片に高速でかつ大変形のひずみを与えることができる。従って、実際にゴルフクラブヘッドにより、ゴルフボールが打撃されたときと同等のひずみ、ひずみ速度の条件下で、材料物性（ヤング率及び損失係数）を測定することができる。このスプリットホプキンソン棒試験機で測定された材料物性（ヤング率及び損失係数）を用いることで、有限要素法解析により、反発特性を測定するための実際の打撃試験を正確にシミュレートすることができ、実際の打撃に近い状態でのゴルフボールの反発特性を予測することができる。これにより、ゴルフボールの設計段階において、実際のボール試作回数を減らし、試作に要する費用と時間を削減することができる。従って、反発特性に関して最適なゴルフボールを短期間に設計することができる。

【００１４】また、実際のゴルフクラブヘッドによる打撃時と同等の条件下での、ゴルフボールを構成する材料のヤング率と損失係数の値と、ゴルフボールの構造、及び各材料の配置位置さえわかれば、様々な種類のゴルフボールの反発性能について、シミュレーションを行うことができる。従って、試作が困難なもの、あるいは、材料やその配置位置の変更に伴うゴルフボールの反発特性の違いを容易に評価することができる。

【００１５】さらに、有限要素法解析により、実際のゴルフボールの打撃時のボールの状態をシミュレートすることができるため、ゴルフボール内部に発生するひずみの状態に加え、ボールに打撃が加えられているときのボール内部の応力の状態も正確に観察することできる。この結果により、反発性能に優れるゴルフボールを設計することができる。

【００１６】実際のゴルフクラブヘッドによる打撃時に、ゴルフボールに発生する最大圧縮ひずみは０．０５～０．５０であるため、この条件下での材料物性（ヤング率及び損失係数）を用いて、有限要素法解析によりシミュレートを行うことが好ましい。このように、ボールの使用条件に合わせることで、実際の打撃時のゴルフボールの反発特性を正確にシミュレートすることができる。

【００１７】あるいは、実際のゴルフクラブヘッドによる打撃時に、ゴルフボールに発生する最大ひずみ速度は５００／ｓ～５０００／ｓであるため、この条件下での材料物性（ヤング率及び損失係数）を用いて、有限要素法解析によりシミュレートを行うことが好ましい。このように、ボールの使用条件に合わせることで、実際の打撃時のゴルフボールの反発性能を正確にシミュレートすることができる。

【００１８】なお、試験片に高速でかつ大変形のひずみが与えられ、実際にゴルフクラブヘッドにより、ゴルフボールが打撃されたときと同等の最大圧縮ひずみ、最大ひずみ速度の条件下で、材料物性（ヤング率及び損失係数）を測定することができれば、スプリットホプキンソン棒以外の測定方法により材料物性（ヤング率、損失係数）を求めても良いことは言うまでもない。

【００１９】ゴルフボールの全ての範囲の要素の数は、全体モデルで１０００～１０００００が好ましく、さらに好ましくは、２５００～２００００が良い。なお、上限の値は、現段階での計算機の能力を鑑みてのものであり、今後計算機の能力が向上するにつれ、解析の時間が短縮されるため上限の範囲は、変わることが容易に想像できる。

【００２０】また、反発特性の解析において、左右対称モデルの解析の場合、ボールは全体モデルではなく、ハーフモデル（ボールの中心を含んだ左右を等分割する中立面でカットしたモデル）とし、中立面に左右方向拘束するモデルでの反発予測解析でも、全体モデルと同様の

解析を行うことができる。さらに、左右、上下対称モデルの解析の場合、ボールは全体モデルではなく、１／４モデルとすることで、同様に解析を行うことができる。このように、解析モデルの対称性を考慮することにより、解析精度を低下させることなく、解析領域を少なくして、有限要素法解析を効率よく行うことができる。

【００２１】本発明によりシミュレートされるゴルフボールは、架橋ゴム層等の単体からなる所謂ワンピースゴルフボールであってもよく、架橋ゴム層等のコアにカバーが被覆された所謂ツーピースゴルフボールでもよく、また、３層以上から構成されていてる所謂マルチピースゴルフボールであってもよく、あらゆる構造のゴルフボールに適応可能である。

【００２２】また、本発明によりシミュレートされるゴルフボールの材料は、スプリットホプキンソン棒で測定可能なあらゆる材料が含まれる。例えば、アイオノマー樹脂等の合成樹脂、ポリブタジエン、天然ゴム、ポリイソプレン、スチレン－ブタジエン共重合体、エチレン－プロピレン－ジエン共重合体（ＥＰＤＭ）等が挙げられる。これらの単体、あるいは混合物からなる組成物に着色剤、劣化防止剤、架橋剤等の各種添加剤が、必要に応じ適量配合されてもよい。

【００２３】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面を参照して説明する。図１は、本発明のボールの反発特性予測方法において、有限要素法解析に必要な材料物性（ヤング率及び損失係数）を測定するスプリットホプキンソン棒試験機が示された模式的正面図である。

【００２４】図１に示すスプリットホプキンソン棒試験機は、打撃棒１、入力棒３及び出力棒５を備えており、これらは直線上に配置されている。入力棒３には、第一ひずみゲージ７及び第二ひずみゲージ９が取り付けられている。出力棒５には、第三ひずみゲージ１１及び第四ひずみゲージ１３が取り付けられている。入力棒３の後端３ａと出力棒５の前端５ａとの間には、円柱状の試験片２０が挟持されている。

【００２５】試験片２０は、ゴルフボールに用いられるゴム組成物等の材料を試験片の形状に成形したものでもよく、また、球状に成形されたゴルフボールから切り出されたものであってもよい。本実施形態では、試験片２０の長さ（すなわち入力棒３の後端３ａと出力棒５の前端５ａとの距離）は４ｍｍ、試験片２０の断面直径は１８ｍｍとしている。

【００２６】打撃棒１、入力棒３及び出力棒５はポリメチルメタアクリレート製の円柱であり、断面直径は２０ｍｍ、ヤング率は５３００ＭＰａ、比重は１．１９である。打撃棒１の長さは、１００ｍｍである。入力棒３及び出力棒５（以下、この入力棒３と出力棒５とは、「応力棒」とも称される）の長さは、２０００ｍｍである。第一ひずみゲージ７は入力棒３の後端３ａから９００ｍｍの位置に取り付けられており、第二ひずみゲージ９は入力棒３の後端３ａから６００ｍｍの位置に取り付けられている。また、第三ひずみゲージ１１は出力棒５の前端５ａから３００ｍｍの位置に取り付けられており、第四ひずみゲージ１３は出力棒５の前端５ａから６００ｍｍの位置に取り付けられている。

【００２７】このように、図１のスプリットホプキンソン棒試験機は、打撃棒１、入力棒３及び出力棒５がポリメチルメタアクリレートからなる合成樹脂製であり、打撃棒１及び入力棒３が２０００ｍｍと大きく、しかも第一ひずみゲージ７と入力棒３の後端３ａとの距離及び第二ひずみゲージ９と入力棒３の後端３ａとの距離が大きいので、ゴルフボールに用いられるような架橋ゴム等の粘弾性を有する材料の材料物性（ヤング率と損失係数等）の測定に適している。

【００２８】上記第一ひずみゲージ７、第二ひずみゲージ９、第三ひずみゲージ１１、第四ひずみゲージ１３として単軸プラスチック用ひずみゲージを用い、本実施形態では、株式会社共和電業製のＫＦＰ－５－３５０－Ｃ１－６５を用い、入力棒３、出力棒５の上記した位置に貼着している。これら第一ひずみゲージ７乃至第４ひずみゲージ１３の入力棒３及び出力棒７への取付位置は、長さ方向において同一線上としている。

【００２９】このスプリットホプキンソン棒試験機によるヤング率及び損失係数の測定では、まず、打撃棒１が入力棒３の前端３ａに、２５ｍ／ｓの速度で衝突する。これによって入射ひずみ波が生じ、この入射ひずみ波は入力棒３の後端３ａに向かって進む。この入射ひずみ波の一部は、入力棒３の後端３ａにおいて反射し、反射ひずみ波となって入力棒３の前端３ｂに向かって進む。入射ひずみ波の一部は、入力棒３の後端３ａから試験片２０を透過し、さらに出力棒５に伝播して透過ひずみ波となり、出力棒５の後端５ｂに向かって進む。

【００３０】入射ひずみ波は、第一ひずみゲージ７及び第二ひずみゲージ９によって実測される。実測された入射ひずみ波は、ローパスフィルターに通され、１０ｋＨｚ以上の高周波が除去される。さらに、入射ひずみ波の時刻歴は、そのベースライン値をゼロとするゼロ補正が施される。こうして得られた第一ひずみゲージ７及び第二ひずみゲージ９における時間軸ひずみのそれぞれがフーリエ変換され、周波数軸ひずみが求められる。この第一ひずみゲージ７及び第二ひずみゲージ９における周波数軸ひずみから、伝達関数が導出される。第一ひずみゲージ７と入力棒３の後端３ａとの距離Ｘ１と、第二ひずみゲージ９と入力棒３の後端３ａとの距離Ｘ２との比（Ｘ１：Ｘ２）が考慮されつつ、上記伝達関数に基づいて、入力棒３の後端３ａにおける周波数軸ひずみが推定される。この周波数軸ひずみがフーリエ逆変換されることにより、入力棒３の後端３ａにおける入射ひずみ波の時間軸ひずみ（ひずみの時刻歴）εiが得られる。

【００３１】同様に、入力棒３の後端３ａで反射して前端３ｂに向かう反射ひずみ波が第二ひずみゲージ９及び第一ひずみゲージ７によって実測される。この実測された反射ひずみ波から、入力棒３の後端３ａにおける反射ひずみ波の時間軸ひずみ（ひずみの時刻歴）εrが得られる。

【００３２】また、出力棒５の第三ひずみゲージ１１及び第四ひずみゲージ１３によって、試験片２０を経て出力棒５に伝播される透過ひずみ波を実測し、この実測した透過ひずみ波から、出力棒５の前端５ａにおける透過ひずみ波の時間軸ひずみ（ひずみの時刻歴）εtが得られる。

【００３３】こうして得られたεi、εr及びεtから、下記数式（１）によって、試験片２０のひずみ速度ε'が算出される。

$$\begin{aligned}\varepsilon' &= (C0/L)\cdot(\varepsilon i-\varepsilon r-\varepsilon t)\\ &= ((E/\rho)^{1/2}/L)\cdot(\varepsilon i-\varepsilon r-\varepsilon t) \qquad ---(1)\end{aligned}$$

（数式（１）において、Ｃ０は入力棒および出力棒中（応力棒）のひずみ波の伝播速度（ｍ／ｓ）を表し、Ｌは試験片の長さ（ｍ）を表し、Ｅは応力棒のヤング率（N/m^2）を表し、ρは応力棒の密度（kg/m^3）を表す）

【００３４】また、εi、εr及びεtから、下記数式（２）によって試験片２０のひずみεが算出される。

【００３５】

$$\begin{aligned}\varepsilon &= (C0/L)\cdot\int_0^t(\varepsilon i-\varepsilon r-\varepsilon t)\,dt\\ &= ((E/\rho)^{1/2}/L)\cdot\int_0^t(\varepsilon i-\varepsilon r-\varepsilon t)\,dt \qquad ---(2)\end{aligned}$$

（数式（２）において、Ｃ０は入力棒および出力棒中（応力棒）のひずみ波の伝播速度（ｍ／ｓ）を表し、Ｌは試験片の長さ（ｍ）を表し、Ｅは応力棒のヤング率（N/m^2）を表し、ρは応力棒の密度（kg/m^3）を表す）

【００３６】さらに、εi、εr及びεtから、下記数式（３）によって試験片２０の応力σが算出される。

$$\begin{aligned}\sigma &= (E\cdot A/(2As))\cdot(\varepsilon i+\varepsilon r+\varepsilon t)\\ &= (E\cdot D^2/(2(Ds)^2))\cdot(\varepsilon i+\varepsilon r+\varepsilon t) \qquad ---(3)\end{aligned}$$

（数式（３）において、Ｅは入力棒および出力棒からなる応力棒のヤング率（N/m^2）を表し、Ａは上記応力棒の断面積（m^2）を表し、Ａｓは試験片の断面積（m^2）を表し、Ｄは応力棒の直径（ｍ）を表し、Ｄｓは試験片の直径（ｍ）を表す）

【００３７】こうして得られた試験片２０のひずみ時刻歴を、図２のグラフに示す。図２に示すように、曲線は、ピークＰ以降しばらくはなだらかであるが、その後、凹凸状となる。ピークＰ以降のなだらかな段階での点Ｓを選択し、この点Ｓにおける曲線に対する接線を画き、この接線と時間軸との交点から緩和時間λを導出し、下記数式（４）によって求められる曲線を点Ｓ以降の曲線とすることによって、ひずみ時刻歴全体をなだらかな曲線（図２中に点線で示す）とすることができる。これにより、最終的に得られる材料物性（ヤング率と損失係数）へのノイズの影響を除去することができる。

$$\varepsilon(t)=\varepsilon 0\cdot e^{-t/\lambda} \qquad ---(4)$$

（数式（４）において、$\varepsilon 0$は接点におけるひずみを表す）

【００３８】同様に、下記数式（５）によって、応力時刻歴全体をなだらかな曲線とすることができ、これによって最終的に得られる材料物性（ヤング率と損失係数）へのノイズの影響を除去することができる。

$$\sigma(t)=\sigma 0\cdot e^{-t/\lambda} \qquad ---(5)$$

（数式（５）において、$\sigma 0$は接点における応力を表す）

【００３９】このような補正が行われた試験片２０のひずみ時刻歴及び応力時刻歴から、応力－ひずみ曲線が決定される。図３は、典型的な応力－ひずみ曲線が示されたグラフである。この応力－ひずみ曲線から、下記の数式（６）を用いて、試験片２０のヤング率Ｅｓが算出される。

$$Es=\sigma max/\varepsilon max \qquad ---(6)$$

【００４０】また、図３の応力－ひずみ曲線から、下記の数式（７）を用いて、位相角δが算出される。

$$\delta=\sin^{-1}((\sigma a-\sigma b)/\sigma max) \qquad ---(7)$$

そして、この位相角δより、損失係数（$\tan\delta$）が算出される。

【００４１】上記した打撃棒が入力棒の前端に２５ｍ／ｓの速度で衝突したときの試験片の最大ひずみ速度は２０００／ｓから２５００／ｓ程度であり、また、最大圧縮ひずみは０．１５から０．２５程度である。このひずみの変形挙動は、ゴルフボールが打撃された場合の変形挙動に近いものである。すなわち、このスプリットホプ

キンソン棒試験機によって測定されるヤング率及び損失係数は、ゴルフボールが実際に打撃されたときに近い状態における材料物性である。なお、打撃棒の衝突速度は、２５ｍ／ｓに限らず、打撃棒が衝突したときの試験片のひずみの変形挙動が、ゴルフボールが打撃された場合の変形挙動に近くなるような速度であればよい。

【００４２】上記のようにスプリットホプキンソン棒試験機によって測定されるヤング率及び損失係数を代入し、有限要素法解析によりシミュレートすることで、実際のゴルフクラブヘッドによる打撃時と同等の条件下でのゴルフボールの反発係数を予測することができる。

【００４３】具体的には、図４に示すように、内層、中間層、外層の３層からなるゴルフボール３０において、内層を材料Ａ、中間層を材料Ｂ、外層を材料Ｃで構成している。各層の材料Ａ、材料Ｂ、材料Ｃのヤング率と損失係数を、上記したスプリットホプキンソン棒試験機による測定方法で、実際のゴルフクラブヘッドによる打撃時と同等の条件下において、予め求めておく。その値を代入し、以下に示すように、有限要素法によりシミュレートすることで、正確にゴルフボールの反発係数を予測することができる。

【００４４】（解析での反発係数の算出）ゴルフクラブヘッドのゴルフボールへの衝突を想定し、図５（Ａ）（Ｂ）（Ｃ）に示すように、アルミニウム製中空棒モデル３１の初速度Ｖａ（ｍ／ｓ）での、ゴルフボール３０への衝突をシミュレートしている。図中の格子状の線は、有限要素法解析で用いるメッシュを示す線である。１要素に関して構成する各節点に質量を分配し、各節点を質点と置き換え、各節点の速度を質点の持つ速度として合計を割って、全体の速度としている。即ち、インパクト後のボールの速度Ｖｂｉ（ｉ＝ｘ、ｙ、ｚ）は、数式（８）により以下のように算出する。ボールの全運動量は全質点の運動量の和と考え、全運動量を総重量で割ったものをボールの飛び出し速度Ｖｂｉと定義する。

【００４５】

$$v_{bi} = \frac{\sum_{n=1}^{N} m_n v_{ni}}{M} \quad ---(8)$$

ここで、Ｎ、Ｍは、ボールの節点数、総質量、Ｖｎｉ、Ｍｎはｎ番目の並進速度、節点を含む要素の質量をその要素に含まれる節点の数で割ったものである。

【００４６】上記した方法により、衝突前後の上記アルミニウム製中空棒モデル３１及びゴルフボール３０の速度を算出し、それぞれの速度及び重量からゴルフボール３０の反発係数を算出している。

【００４７】また、図６に示すように、前述したゴルフボール３０と構造は同じであるが、材料の配置位置が異なるゴルフボール３０’において内層を材料Ｃ、中間層を材料Ｂ、外層を材料Ａとした場合でも、各材料Ａ～Ｃのヤング率と損失係数の値を、各材料の該当部分に代入し、有限要素法によりシミュレートするだけで、材料の配置位置変更後のゴルフボール３０’の反発係数を容易に予測することができる。このように、様々な構成のゴルフボールについて、試作を行わずに、容易に反発性能の比較を行うことができる。

【００４８】また、反発特性の解析において、左右対称モデルの解析の場合、図７（Ａ）（Ｂ）に示すように、ボールを全体モデルではなく、ハーフモデル４０（ボールの中心を含んだ左右を等分割する中立面Ｔでカットしたモデル）とし、アルミニウム製中空棒モデル４１との衝突を、中立面Ｔに左右方向拘束するモデルでの反発予測解析（中立面Ｔにｙ方向並進拘束、ｘ，ｚ軸回りの回転拘束を入れる）でも、全体モデルと同様の解析を行うことができる。さらに、左右、上下対称モデルの解析の場合、図８に示すように、ボールは全体モデルではなく、２つの中立面Ｔ’、Ｔ”でカットすることにより、１／４モデル５０とし、アルミニウム製中空棒モデル５１との衝突を、全体モデルと同様に解析することができる。このように、解析モデルの対称性を考慮することにより、解析精度を低下させることなく、解析領域を少なくして、有限要素法解析を効率よく行うことができる。

【００４９】なお、本実施形態では、３層からなるゴルフボールをシミュレートしているが、本発明によりシミュレートされるゴルフボールは、ワンピースゴルフボール、ツーピースゴルフボール、あるいは、３層以上から構成されていてるマルチピースゴルフボール等あらゆる構造のゴルフボールに適応可能である。

【００５０】このように、各材料の実際のゴルフクラブヘッドによる打撃時と同等の条件下でのヤング率と損失係数の値と、ゴルフボールの構造、各材料の配置位置さえわかれば、様々な種類のゴルフボールの反発性能について、シミュレーションを行うことができ、試作せずに、反発性能評価を行うことができる。

【００５１】なお、試験片に高速でかつ大変形のひずみが与えられ、実際にゴルフクラブヘッドにより、ゴルフボールが打撃されたときと同等の最大圧縮ひずみ、最大ひずみ速度の条件下で、材料物性（ヤング率及び損失係数）を測定することができれば、上記スプリットホプキンソン棒以外の測定方法により材料物性（ヤング率、損失係数）を求めても良い。

【００５２】以下、本発明のゴルフボールの反発シミュレーションの実施例及び比較例について詳述する。まず、下記の材料１～３を用いたゴルフボールを作製した。

【００５３】（材料１）

ハイシスポリブタジエンゴム　（ＢＲ０１　ＪＳＲ製）　１００ｐｈｒ

アクリル酸亜鉛（ＺＤＡ）３１ｐｈｒ

酸化亜鉛（ＺｎＯ）２０ｐｈｒ

ジクミルパーオキサイド（ＤＣＰ）０．４ｐｈｒ
からなる混合物を１６０℃で３０分、直径４２．８ｍｍ金型で圧縮成型し、１ピースボールを作製した。

【００５４】（材料２）ポリエステル系熱可塑性エラストマー（ハイトレル４４７４　東レデュポン社製）を直径４２．８ｍｍ金型でインジェクション成型し、１ピースボールを作製した。

【００５５】（材料３）
アイオノマー樹脂（ハイミラン１６０５　三井デュポンケミカル社製）５０ｐｈｒ
アイオノマー樹脂（ハイミラン１７０６　三井デュポンケミカル社製）５０ｐｈｒ
からなる混合物をを直径４２．８ｍｍ金型でインジェクション成型し、１ピースボールを作製した。

【００５６】（実施例）上記材料１～３の材料物性（ヤング率と損失係数）を、上記したスプリットホプキンソ＊ン棒試験機により測定した（室温２３℃、相対湿度５０％、打撃棒の衝突速度２５ｍ／ｓ）。測定により得られたヤング率と損失係数及び、測定時の最大圧縮ひずみと最大ひずみ速度を下記の表１に示す。

【００５７】この値を用いて、有限要素法解析により、材料１～３よりなる各ゴルフボールに、２００ｇ（ヘッドの重さと同一）のアルミニウム製の中空棒モデルを初速度３５、４０、４５ｍ／ｓの３通りの速度で衝突させた時のゴルフボールの状態をシミュレートし、上記した方法でゴルフボールの反発係数を算出した。ここで得られた材料１～３のゴルフボールの実施例の解析での反発係数を、それぞれ下記の表３（材料１）、表４（材料２）、表５（材料３）に示す。

【００５８】

【表１】

材料名	ヤング率[Mpa]	損失係数	最大圧縮歪み	最大歪み速度[/s]
材料 1	77.9	0.5493	0.2897	3908.1
材料 2	53.66	0.8237	0.3153	3927.6
材料 3	389.44	0.2618	0.098	1381.1

【００５９】（比較例）上記材料１～３の材料物性（ヤング率と損失係数）を、粘弾性スペクトルメーターにより測定し（周波数１０Ｈｚ、最大圧縮ひずみ０．０２、最大ひずみ速度１．２５６／ｓ）、得られたヤング率と損失係数を下記の表２に示す。この値を用いて、有限要素法解析により、材料１～３よりなる各ゴルフボールに、２００ｇ（ヘッドの重さと同一）のアルミニウム製の中空棒モデルを初速度３５、４０、４５ｍ／ｓの３通りの速度で衝突させた時のゴルフボールの状態をシミュレートし、上記した方法でゴルフボールの反発係数を算出した。ここで得られた材料１～３のゴルフボールの比較例の解析での反発係数を、それぞれ下記の表３（材料１）、表４（材料２）、表５（材料３）に示す。

【００６０】

【表２】

材料名	ヤング率[Mpa]	損失係数
材料 1	35.6	0.0658
材料 2	11.0	0.0783
材料 3	128.0	0.0750

【００６１】

【表３】（材料１）

中空棒　初速[m／s]	35	40	45
実験での反発係数	0.8086	0.7731	0.7365
実施例の解析での反発係数	0.8211	0.7978	0.7790
実験結果との差(%)	1.55	3.19	5.77
比較例1の解析での反発係数	0.9748	0.9706	0.9589
実験結果との差(%)	20.55	25.55	30.20

【００６２】

【表４】（材料２）

中空棒　初速[m／s]	35	40	45
実験での反発係数	0.7495	0.7191	0.6849
実施例の解析での反発係数	0.7566	0.7175	0.6869
実験結果との差(%)	0.95	−0.22	0.29
比較例1の解析での反発係数	0.9657	0.9615	0.9689
実験結果との差(%)	28.85	33.71	41.47

【００６３】

【表５】（材料３）

中空棒　初速[m／s]	35	40	45
実験での反発係数	0.7934	0.7708	0.7501
実施例の解析での反発係数	0.7838	0.7703	0.7592
実験結果との差(%)	−1.21	−0.06	1.21
比較例1の解析での反発係数	0.9475	0.9450	0.9420
実験結果との差(%)	19.42	22.60	25.58

【００６４】また、上記材料１～３で成型されたゴルフボールの実物を使用した実験により、下記の方法で反発係数の値を測定した。上記実施例及び比較例の解析での反発係数と下記の実物を使用した実験での反発係数との差（％）を上記した表３（材料１）、表４（材料２）、表５（材料３）に示す。

【００６５】（実験での反発係数の測定）ゴルフボールの反発係数を測定する方法として、室温２３℃の条件下、材料１～３よりなる各ゴルフボールに、ゴルフクラブのヘッドの代用として、２００ｇ（ヘッドの重さと同一）のアルミニウム製の中空棒を速度３５、４０、４５ｍ／ｓの３通りの速度で衝突させ、衝突前後の上記中空棒及びゴルフボールの速度を測定し、それぞれの速度及び重量から各ゴルフボール（３種類の材料）の反発係数を算出した。各ゴルフボールとも、１ピースボールで測定した。なお、アルミニウム製の中空棒の衝突面は、フラットであり、ゴルフボールとフラットな正面衝突とした。ゴルフクラブヘッドのように衝突面に角度がないた

め、衝突時にゴルフボールが回転しないので、ゴルフボールの反発性能のみを評価できる。

【００６６】表３、４、５に示すように、スプリットホプキンソン棒試験機で得られた（最大圧縮ひずみ０．０９８～０．３１５３、最大ひずみ速度１３８１．１～３９２７．６／ｓ条件下）ヤング率と損失係数を代入して有限要素法により解析した結果から算出した実施例の解析での反発係数の値は、実際にゴルフボールを試作して、実物により求めた実験での反発係数の値と、いずれの材料においても、よく一致していた。実験結果との差は－１．２１％～５．７７％であり、実験結果を正確にシミュレートしていることが確認できた。

【００６７】一方、スペクトルメーター（周波数１０Ｈｚ、最大圧縮ひずみ０．０２、最大ひずみ速度１．２５６／ｓ）で得られたヤング率と損失係数を代入して有限要素法により解析した結果から算出した比較例の解析での反発係数の値は、実際にゴルフボールを試作して、実物により求めた実験での反発係数の値とは誤差が生じていた。実験結果との差は１９．４２％～４１．４７％であり、実験結果とは大きく異なっていた。

【００６８】以上より、スプリットホプキンソン棒試験機で得られたヤング率と損失係数を代入して有限要素法により解析することで、実際のゴルフボール打撃時の反発係数を正確にシミュレートできることが確認できた。

【００６９】

【発明の効果】以上の説明より明らかなように、本発明は、スプリットホプキンソン棒試験機により、実際にゴルフクラブヘッドで、ゴルフボールが打撃されたときと同等のひずみ、ひずみ速度の条件下で、材料物性（ヤング率及び損失係数）を測定しているため、有限要素法解析により、実際の打撃試験を正確にシミュレートすることができ、実際の打撃に近い状態でのゴルフボールの反発特性を予測することができる。これにより、ゴルフボールの設計段階において、実際のボール試作回数を減らし、試作に要する費用と時間を削減することができる。＊＊従って、反発性能に関して最適なゴルフボールを短期間に設計することができる。

【００７０】ゴルフボールを構成する材料の材料物性（ヤング率及び損失係数）を用いて、有限要素法によりボールの打撃をシミュレートするだけでよいため、ゴルフボールの構造、各材料の配置位置さえわかれば、様々な種類のゴルフボールの反発特性について、シミュレーションを行うことができ、様々な種類の材料、配置構造について、試作せずに、簡単に設計することができる。

【００７１】さらに、ボールに打撃が加えられているときのボール内部の応力、ひずみの状態を、有限要素法解析により、正確に観察することできるため、反発性能に優れるゴルフボールを設計することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】　ヤング率及び損失係数が測定されるスプリットホプキンソン棒試験機が示された模式的正面図である。

【図２】　試験片のひずみ時刻歴の状態が示されたグラフである。

【図３】　応力－ひずみ曲線が示されたグラフである。

【図４】　本発明のシミュレーションを行ったゴルフボールの断面図である。

【図５】　アルミニウム製中空棒モデルのゴルフボールへの衝突による反発性能評価シミュレーションを示し、（Ａ）は衝突前、（Ｂ）は衝突中、（Ｃ）は衝突後の図である。

【図６】　本発明のシミュレーションを行った変形例のゴルフボールの断面図である。

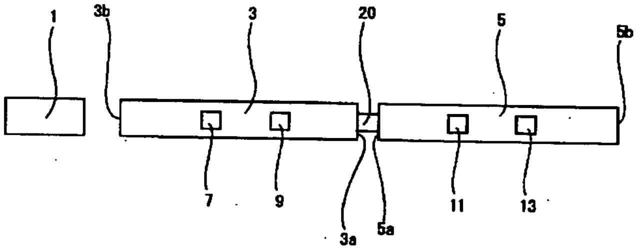
【図７】　（Ａ）（Ｂ）は、ゴルフボールのハーフモデルを示す概略図である。

【図８】　ゴルフボールの１／４モデルを示す概略図である。

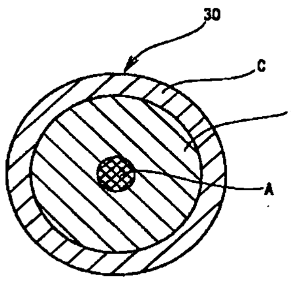
【符号の説明】

３０	ゴルフボール
３１	アルミニウム製中空棒モデル

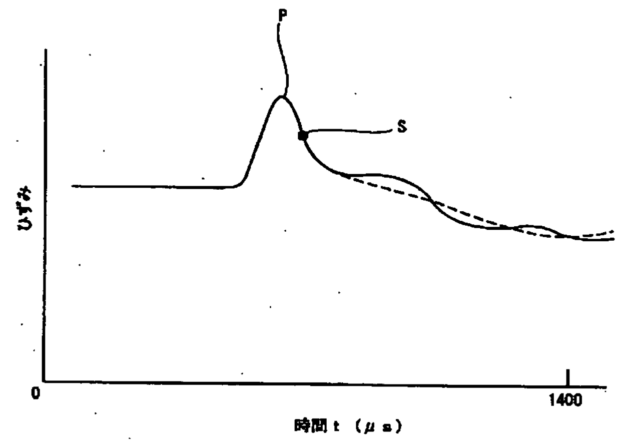
【図１】



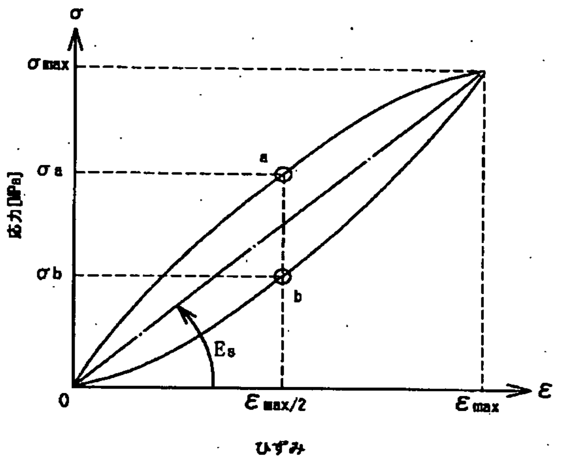
【図４】



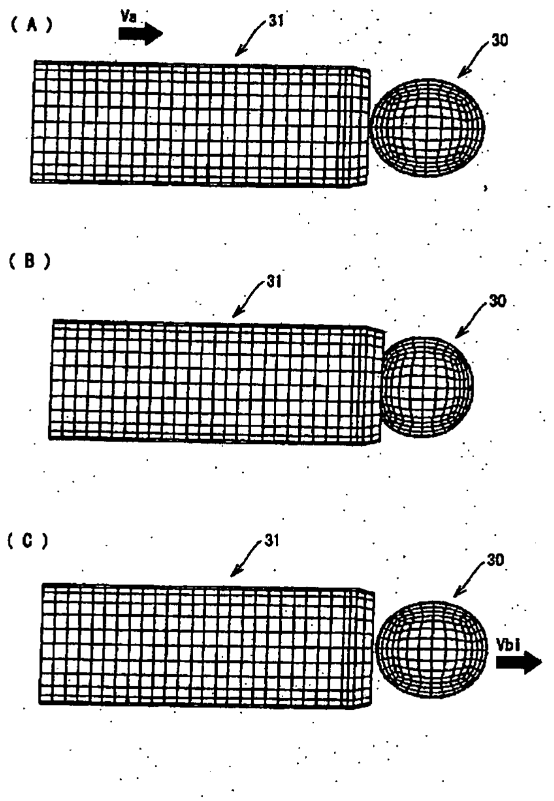
【図２】


P
S
ひずみ
0
1400
時間 t （μs）

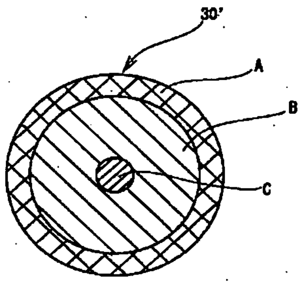
【図３】


σ
σmax
σa
σb
a
b
Es
応力[MPa]
0
εmax/2
εmax
ε
ひずみ

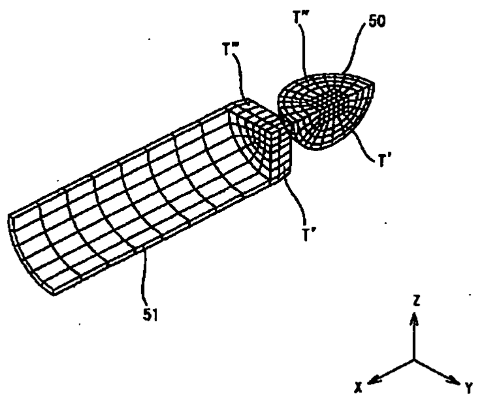
【図５】


（A）
Va
31
30
（B）
31
30
（C）
31
30
Vbi

【図６】


30'
A
B
C

【図８】


T'''
T''
50
T'
T'
51
Z
X
Y

【図７】